

# **CONCRETO POLIMÉRICO ELABORADO CON CARGAS CERÁMICAS RECICLADAS**

**SEBASTIÁN GIRALDO GIRALDO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Jose William Restrepo Montoya**

**Ingeniero Metalúrgico**

**PhD. en Ciencia de Materiales**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA CÍVIL  
ENVIGADO  
2015**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a mi familia que son mi Motor y mi Todo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	8
1. PRELIMINARES.....	9
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.1.1 Objetivos Específicos .....	13
3. MARCO DE REFERENCIA .....	14
3.1 CONCRETO POLIMÉRICO.....	14
3.2 Materias primas utilizadas para la elaboración de productos en concretos poliméricos.....	16
LAS RESINAS .....	16
Las cargas cerámicas.....	17
3.3 Proveedores de concreto polimérico.....	18
3.4 ANÁLISIS INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DEL CONCRETO POLIMÉRICO.....	19
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1 Diseño de las mezclas de concreto Polimérico. ....	27
4.2 Ensayos de caracterización de las mezclas de concreto polimérico . ....	32
5. DESARROLLO DEL PROYECTO. ....	33
5.1 Caracterización las materias primas utilizadas .....	33
5.1.1 Caracterización agregado grueso.....	33
5.1.2 Caracterización agregado fino.....	34
5.1.3 Caracterización agregado residuos de construcción (RDC's).....	34
5.1.4 Caracterización de la resina poliéster:.....	35

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

5.1.5	Tiempo de gel y pico exotérmico. ....	35
5.2	Especificación Probetas falladas a compresión. ....	37
5.3	ensayo a flexión de viga en concreto polimérico.....	40
5.3.1	GRÁFICA DOSIFICACIONES VERSUS DENSIDADES Y RESISTENCIAS	41
5.3.2	Imagenes probetas dosificaciones.....	42
5.4	VALORACIÓN ELABORACIÓN CONCRETO POLIMÉRICO. ....	44
5.5	Prototipo industrial en concreto polimérico .....	45
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	46
6.1.1	GRAFICA DOSIFICACION 4 VERSUS DENSIDADES Y RESISTENCIAS	48
	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	50
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	51

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 .....	15
TABLA 2 .....	20
TABLA 3.....	22
TABLA 4.....	22
TABLA 5.....	26
TABLA 6.....	28
TABLA 7.....	27
TABLA 8.....	30
TABLA 9.....	31
TABLA 10.....	35
TABLA 11.....	37
TABLA 12.....	37
TABLA 13.....	38
TABLA 14.....	38
TABLA 15.....	39
TABLA 16.....	39
TABLA 17.....	44
TABLA 18.....	47

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## RESUMEN

El Concreto Polimérico es un material innovador y nuevo en la industria de la construcción, las investigaciones que se han hecho acerca del tema son pocas y la información tanto en la internet, bases de datos y bibliotecas es escasa como prácticamente nula. Se estudió una amplia bibliografía de trabajos de investigación acerca del concreto polimérico o concreto hecho con resinas pero debido a la poca información a que se puede acceder se analizó y estudio a fondo cuatro investigaciones sobre este tema.

Tomando como base esas bibliografías de carácter académico se procedió a analizar las metodologías, dosificaciones y resistencias a compresión que arrojan dichos estudios para proceder a hacer el diseño de mezclas del presente trabajo.

El diseño de mezclas basado en un diseño de experimentos factorial  $X^n$  arrojó seis dosificaciones de prueba para hacer ensayos de probetas a compresión. Se elige la dosificación que arroje el mejor resultado en resistencia a compresión para hacer una viga vaciada en concreto polimérico para fallar a flexión y hacer un prototipo industrial en dicho material que en el presente caso es un bloque de concreto.

Todas las dosificaciones tienen como material Residuos de construcción RCDs.

## **ABSTRACT**

The Polymer concrete is a new and innovator material in the construction industry. The investigations based on this subject are a few and the information content on the Web, data bases and libraries is scarce as well as null. Even though the information is difficult to reach and important investigation bibliography about the subject has been studied, but just four studies were able to deeply analyze and considerer its methodology, dosages and resistance results to proceed to make the present research.

As mentioned, based on the information available the mix design of the present work is done, six mix design are presented, all of them includes recycled material, is important to mention that the mix design is based on a factorial experiments design.

The dosage that presents better results on the compression test will be selected as the dosage of the present work. A beam made of this dosage is flexure failed and an industrial prototype is made with this material, as purpose to be display during the presentation of this research.

## INTRODUCCIÓN

El término construcción siempre se ha asociado a nivel mundial con el término concreto, más específicamente concreto hidráulico basado en cemento Portland. Este material tiene propiedades mecánicas excelentes, resistencia a la compresión entre 3000 y 7000 Psi producidos en obra. Estas resistencias a la compresión pueden ser mayores en concretos hechos con un producto aglutinante polimérico termoestable como es la Resina Poliéster Ortoftálica, agregados finos y gruesos y material de relleno "filler" el cual en este estudio particular será un material cerámico reciclado y material no reciclado para efectos de comparación y determinar la viabilidad del material reciclado en la dosificación de la mezcla de un concreto polimérico (también llamado Policoncreto), más Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Un concreto polimérico con un buen diseño de mezclas y manipulado correctamente durante el proceso de vaciado y curado puede alcanzar resistencias entre los 7000 y 10000 PSI, además el tiempo de curado es corto, de 2 a 3 días como máximo (Amando Padilla Ramírez, Antonio Flores Bustamante, Ivan Panamá, Juan E. Huerta, 2010) . A pesar de que el Policoncreto promete altas resistencias y en tan corto tiempo, este material aún no es usado masivamente en la industria de la construcción, sólo se ha empleado en productos cerámicos de acabados de baños (Firplak S.A, 2013). Es importante resaltar que el esfuerzo académico en Latinoamérica para la investigación del tema puede ser mayor, debido a que son pocos los estudios encontrados en bases de datos certificadas y en bibliotecas universitarias de la ciudad de Medellín.

El concreto polimérico es un material compuesto de última generación que es ideal para la elaboración de productos vaciados en concreto que requieren buenos acabados conforme el producto se ha vaciado y sin necesidad de algún tratamiento posterior al vaciado porque el concreto polimérico al tener resina incluida en el diseño de mezclas da tan buenos acabados por sus propiedades aglutinantes. El concreto polimérico también es ideal para hacer productos prefabricados en concreto tales como cajas drenadoras de agua, tapa rejillas, bancas, tapas de alcantarillado antideslizantes ya que las tapas convencionales fabricadas en concreto hidráulico son lisas en la superficie y presentan un riesgo para los vehículos que transitan las calles.

Se analizan diferentes estudios en donde se diseñaron mezclas de concreto polimérico con diferentes fillers y dosificaciones y se vaciaron probetas en concreto polimérico que luego fueron sometidas a ensayos de compresión en todos los casos y en otros más rigurosos también se sometieron las muestras a ensayos de tracción y flexión. En base al análisis de los resultados arrojados por otras investigaciones se definen los parámetros para realizar el diseño de mezclas más adecuado para un concreto polimérico que incluya material reciclado, buenas propiedades de viscosidad, mecánicas y sea viable presentar un prototipo de producto vaciado en concreto polimérico.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## 1. PRELIMINARES

Al comienzo de la década de 1950 comenzaron a utilizar diferentes polímeros en los concretos, cuando se le empezó a añadir pequeñas cargas poliméricas al concreto con el fin de mejorar la adherencia y la resistencia al desgaste de los concretos utilizados en la época, los cuales empleaban como aglomerante el cemento hidráulico Portland. Durante las últimas tres décadas en países latinoamericanos como México y Brasil se le ha dado cierto grado de importancia y estudio a los concretos poliméricos, los más destacados son México y Brasil a diferencia de Colombia donde es muy poco lo que se le ha trabajado a este material. Solo pocas empresas como Firplak S.A, Reforplas S.A.S y FIBRIT S.A han trabajado en dicho material (Reforplas, 2014). La que tiene mayor variedad de productos y un buen desarrollo en cada uno de ellos y su portafolio es la empresa REFORPLAS que desde 1979 está en el mercado. Esta empresa ofrece un catálogo amplio de productos hechos en poli-concreto o concreto polimérico. Los productos son: tapas y rejillas para redes de alcantarillado, tachón para división transporte masivo, bolardos viales, placas tipo escalón y pasillo, placas de señalización, cajas (drenajes), sistemas de drenaje, tuberías, muros de contención y fachadas (Reforplas, 2014).

FIBRIT S.A, fundada en 1983 está ubicada en la ciudad de Bogotá. tiene como producto bandera un panel en concreto polimérico que sirve como muro interno separador, dintel y fachada con acabado y tiene un nivel de atenuación de ruido de 39 db. También hace productos en este material para soluciones de carácter estructural, urbanístico y acabados arquitectónicos. .(FIBRIT S.A, 2014)

A nivel local en la ciudad de Medellín la empresa Firplak es reconocida por sus productos cerámicos hechos en concreto polimérico, pero el concreto polimérico lo usan para mejorar los acabados de los productos cerámicos más no para productos con propiedades mecánicas.

Una empresa mexicana llamada Concretos Poliméricos Castor también hace productos en concreto polimérico, con resina poliestérica, para alcantarillas, sistemas de drenaje, bocales para pozos telefónicos, alcantarillas, tapas de trinchera, postes etc. Los productos en concreto polimérico de la compañía son altamente resistentes a la compresión, agentes químicos, de buen aislante térmico, durabilidad e impermeable. Esta empresa fue creada en 1995 y ofrece sus servicios para México, Centro y Suramérica. En la figura 1 ilustrada en la siguiente página se muestran productos de la empresa.

En Colombia no hace más de tres décadas se viene trabajando en este tema, y son contadas las empresas que lo hacen y los avances logrados (Ortiz, 1999).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Figura 1.** Brocal y tapa para pozo de visita en concreto polimérico. (Concreto polimérico Castor, 2011).



**Figura 2.** Tapa de desagüe alcantarillado. (Concreto polimérico Castor, 2011)

Tapa fabricada en concreto polimérico con fibra de vidrio, resistencia a 21 toneladas, con 4 respiraderos, 6 respiradores o ciego, dieléctrico, perfecto para climas extremos y grado alto de salinidad, auto extingüible e indeformable.

Rejilla de boca de tormenta: tiene las mismas especificaciones que el producto ilustrado en la figura 1. A diferencia en que los respiradores cambian de forma y pasan a ser drenes con alta capacidad de captación de fluido, también varía la forma de la tapa y que su resistencia es mayor; 24 toneladas.

En el ámbito comercial es donde existe más información sobre los concretos poliméricos, en tanto que en ámbito académico la información disponible es más restringida y los estudios publicados en artículos o tesis no coinciden en dosificaciones de mezcla, encontrándose mucha variabilidad tanto en el tipo de resinas como también en las características de los agregados y fillers utilizados. En otras palabras, hay investigaciones y trabajos de grado que aportan conocimiento al tema; sin embargo no hay estudios suficientes que conlleven a estandarizar tanto las dosificaciones de mezcla de concretos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

poliméricos como los resultados de las pruebas de resistencias mecánicas del mismo concreto.

Pese a que el concreto polimérico es un material versátil e innovador, no ha sido explotado lo suficiente en el sector de la construcción en Colombia, dado que puede llegar a adquirir excelentes propiedades físico-mecánicas. Estas propiedades son muy buenas para diferentes elementos y procesos constructivos (urbanismo, tapas, mampostería). Se puede observar el alto uso de materiales como el adobe y bloque de concreto en la mampostería no estructural y estructural. Ambos materiales mencionados anteriormente se podrían reemplazar tanto en mampostería estructural y no estructural por elementos hechos en concreto polimérico, material que tiene mejores características físico-mecánicas que los anteriormente mencionados (Reforplas, 2014).

El concreto polimérico es un material que tiene muchas bondades tanto estructurales como no estructurales: como en los acabados que puede tener, el peso, resistencia mecánica y además tiene la facilidad de trabajarse como material prefabricado teniendo presente que la construcción con materiales y elementos prefabricados en Colombia es muy poca y mucho menor en concretos. El concreto polimérico mezclado con diferentes cargas cerámicas puede dar resultados sobresalientes en sus propiedades físico-químicas con la ventaja de que se está haciendo aprovechamiento de estos materiales (Ortiz, 1999). Se espera generar un impacto positivo en el sector de la construcción al ser un material que tiene cargas cerámicas recicladas, se está siendo amigable con el ambiente y es un paso más hacia el desarrollo sostenible. También se pretende generar un cambio en la cultura de la construcción en Colombia al desarrollar nuevas tecnologías en los materiales de construcción y cambiar la mentalidad de resistencia al cambio en las empresas constructoras; incentivar a una cultura del desarrollo industrial de la mano con la academia y la tecnología.

La reutilización de residuos de la construcción y demolición (RCDs) es un proceso importante, debido a que estos residuos han generado problemática de carácter ambiental asociado a su ubicación. Hasta llegar al punto que autoridades ambientales regionales han puesto comparendos ambientales, porque ciertas constructoras disponen estos residuos en cauces de agua, escombreras sin la documentación apropiada, en rellenos sanitarios taponándolos más de la cuenta y generando desastres como el de La Gabriela en Bello, Antioquia. Desde una perspectiva económica; la disposición de estos residuos representa un gasto para los constructores y más contaminación debido al transporte.

Hasta la fecha sólo hay una empresa identificada que recicla y reutiliza RCDs aglomerándolos con resinas para fabricar productos útiles para la construcción como lavamanos, lavaderos y pocetas, esta empresa creó una Spin off llamada Ecodek (Sinesco s.f).

El propósito de este trabajo de grado fue desarrollar mezclas de concreto polimérico a partir de RCDs aglomerados con resina poliéster, y caracterizar su desempeño mecánico con el fin de determinar si puede ser técnicamente aplicable para la fabricación de productos estructurales para el sector constructor. Además se buscó utilizar materias

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

primas comunes y de bajo costo para reducir costos de fabricación, unido a esto el hecho que al reutilizar los RCDs se contribuye a valorizar un excedente de la construcción y a la política de construcción sostenible que esta siendo impulsada en el país por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (Consejo Colombiano de construcción sostenible, 2014).

### **Planteamiento del problema**

En Colombia, más específicamente en el sector de la construcción tanto en el ámbito público como privado comúnmente se ha trabajado constantemente con los mismos materiales, tanto en obra negra como en acabados sin ningún tipo de innovación en los mismos y también con los mismos procesos constructivos, éstos varían poco con el tiempo. Lo anterior debido a la poca inversión en investigación para el desarrollo e implementación de nuevos materiales más versátiles (Ortiz, 1999).

Recientemente, hará unas pocas décadas, el sector constructor en Colombia ha venido introduciendo materiales que por sus propiedades sustituyen a los productos elaborados con concretos tradicionales, uno de ellos es el concreto polimérico (Reforplas, 2014). En el cual agregados y polvos cerámicos son aglomerados con un ligante polimérico tipo resina termoestable, material con mayor aceptación y aplicación en otros países.

Hoy día este material que despierta interés sigue siendo objeto de investigación (Ortiz, 1999) para mejorar sus prestaciones y encontrar nuevas aplicaciones. Además la normativa colombiana para los próximos años exigirá a las empresas constructoras reaprovechar al menos 25% de material lo cual representa una oportunidad de profundizar el desarrollo de productos que como materia prima para su fabricación utilicen residuos de construcción (RCDs) y demolición, lo cual podría ser técnicamente viable en los concretos polimérico (Jesús O. Castaño, 2013).

El trabajo de grado presentado en este informe trata de responder la pregunta ¿Es técnicamente viable utilizar cargas cerámicas recicladas, particularmente RCDs, para elaborar un concreto polimérico con prestaciones mecánicas que permitan su aplicación en productos estructurales.

En otras palabras se busca conocer hasta qué porcentaje es posible que una carga cerámica convencional se pueda reemplazar por cargas cerámicas provenientes de procesos de reciclaje de residuos de la construcción y demolición (RCDs) alcanzando propiedades iguales o superiores a las de concretos polimérico comerciales, cuya dosificación precisa no se conoce, pues se encuentra está protegida en algunos casos o es muy variable en la información disponible.

El concreto polimérico es un material que puede suplir las necesidades de concretos de infraestructura, tales como alta resistencia en poco tiempo, disminución de peso y mayor durabilidad y mejor apariencia estética (Martínez, Vigueras Santiago, 2010).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la viabilidad técnica de utilizar RCDs como reemplazo parcial de las cargas cerámicas utilizadas en la elaboración de concretos poliméricos convencionales, a partir de ensayos físicos y mecánicos.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Realizar ensayos con fluidez (manejabilidad y tiempo de gel y pico Exotérmico) para mezclas de resina con cargas cerámicas recomendadas por la literatura y de RCDs para seleccionar la más apta para conformar productos por vaciado en molde.
- Caracterizar las mezclas seleccionadas por fluidez mediante ensayos de laboratorio para determinar su comportamiento físico-mecánica confrontando los resultados contra lo reportado en literatura disponible.
- Elaborar un prototipo de producto vaciado que acorde a los resultados y recomendaciones pueda sustituir algún producto elaborado en un concreto polimérico comercial.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 CONCRETO POLIMÉRICO

Debido a los constantes avances y a la cada vez mayor demanda e innovación en los materiales actuales industriales, específicamente en la construcción para crear materiales que suplan los altos requerimientos tanto estructurales como funcionales. Con la mejora en las propiedades mecánicas y en el comportamiento a la intemperie se busca que los productos y elementos utilizados en la construcción sean de magnitudes (tamaños) menores, mayor esbeltez y livianos sin perder sus facultades en la funcionalidad para la que fueron contruidos. La tendencia mundial en los próximos años se está reorientando hacia la mayor demanda de materiales y productos de fácil instalación, fácil distribución, con mayor funcionalidad y prestaciones, además de buena accesibilidad económica. Aquí es donde un material novedoso como el concreto polimérico, también llamado policoncreto, encuentra un nicho de desarrollo y aplicación prometedor para suplir algunas demandas del sector constructor.

El concreto polimérico es una buena solución para gran tipo de elementos utilizados en el campo de la construcción El concreto Polimérico tiene como materiales: Resina (agente aglutinante), agregado grueso, fino, filler o agregado fino cerámico (Carbonato de Calcio, yeso o similares) y en el caso particular de el presente estudio residuos de construcción (RDC's). "Las resinas más utilizadas son las resinas tipo: poliéster, epoxi y las de metalicato" (Ortiz, 1999). Es importante mencionar que los concretos poliméricos, clasifican dentro de la categoría de materiales compuestos ya que constan de dos fases separadas por una interfase. La fase continua la constituye una resina termoestable, que actúa como aglomerante de la fase dispersa formada por agregados cuya función principal es la de reforzar la matriz, ayudándole a soportar cargas mecánicas. El concreto poliméricos se utiliza para fabricar productos para la construcción que deben combinar una adecuada resistencia mecánica con impermeabilidad al agua, por lo cual sus aplicaciones incluyen desde sellantes de fracturas en elementos de concreto hasta prefabricados como tejas, baldosas, cajas de registro, tubería de alta presión o para desagües, alcantarillas, entre otros. Además de elementos arquitectónicos (Reforplas, 2014).

El policoncreto es un material resistente a vibración, corrosión, abrasión, fuego, electricidad y grandes cambios de temperatura (Reforplas, 2014); siendo las propiedades más relevantes que pueden lograr con estos tipos de concreto (Ortiz, 1999):

- Alta resistencia a la compresión (100-150 MPa).
- Alta resistencia a la tracción (30-40 MPa).
- Alta relación resistencia a la tracción y a la compresión (1:4 frente a la de concreto normal que es 1:10).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Muy buena durabilidad frente a agentes químicos agresivos.
- Conservan sus propiedades por debajo de 100°C, pues a temperaturas superiores el ligante polimérico se debilita por efectos de termofluencia.
- Curva carga deformación del tipo usual en concretos.
- Muy buenas propiedades dieléctricas por la carga del polímero.
- Buenas propiedades ante agentes químicos externos como la humedad y la corrosión, por la carga polimérica(Resina Poliéster) y ausencia de poros entre los ingredientes de la mezcla.”.
- Se puede trabajar por inyección (espesores de 20 mm o menores).

En la tabla 1. se puede apreciar diferentes propiedades del concreto polimérico.

**Tabla 1.** Propiedades de un concreto polimérico (Reforplas, 2014).

<b>Propiedad</b>	<b>Resultado</b>
Resistencia	De 3 a 5 veces más fuerte que el concreto convencional.
Agentes externos	No le afecta la humedad, sales o cambios de temperatura.
Peso	De un tercio hasta un décimo del peso que el del concreto tradicional.
Laborables	Puede aserrarse y perforarse en campo.
Durabilidad	Para uso en la intemperie no se decoloran.
Acabo y estética	Amplia gama de texturas, geometrías y colores.
Instalación y transporte	Fácil y rápido por su tamaño y peso.
Fuerza superior	Resistencia al impacto 10 veces mayor que el mármol

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### **3.2 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EN CONCRETOS POLIMÉRICOS.**

#### **Las resinas**

son la fase matriz que aglutina e integra las partículas de agregados y rellenos (fillers). Entre las más utilizadas comercialmente para elaborar productos de concreto poliméricos se destacan las resinas de: Urea- formaldehído, epóxica (o epoxi), poliestérica (o poliéster) y fenólica. .

Las resinas ureicas junto con las melaninas forman el grupo de las resinas amínicas; la resina ureica se deja trabajar en prensa fría y también en prensa caliente. Es una dispersión acuosa que está hecha a base de resina sintética que es termoestable y tiene propiedades mecánicas de gran resistencia a la tracción. Son duras y rígidas y tienen una gran capacidad para pegarse. Es utilizada en procesos asociados a la madera, como fabricación de tableros aglomerados, fabricación tableros compensados. Es muy utilizada en el sector industrial del mueble y de la construcción. También es muy utilizada en la industria del papel (Atanor S.C.A, 2013).

La aparición y desarrollo de las resinas epóxicas data de los de la década de 1950, cuando se empezó a utilizar en el sector industrial. Destacan por su fácil aplicación y muy alta resistencia lo que la hace muy fuerte en aplicaciones de carácter estructural. Las resinas de este tipo, se obtienen de sustancias que contienen un grupo epoxi: la epíclorhidrina y también una sustancia llamada Bisfenol A.

Gracias a su baja viscosidad, humectación, y variedad de grupos funcionales hacen de la resina epóxica muy resistente a la adhesión en gran variedad de materiales. Este tipo de resina goza de un buen proceso de curado; se caracteriza por lo simple, que se puede hacer a temperaturas ambiente, sólo produce una pequeña contracción a la misma y que durante su curado no libera agua lo que garantiza que no queda con gases atrapados y la textura sea muy cómoda para trabajar. También presenta buena resistencia a los agentes químicos. A este tipo de resinas es común agregarle cargas específicas, generalmente inorgánicas, que ayudan a reducir costos, pero el motivo principal por el cual se agregan es para modificarle propiedades específicas, como: aumentar flexibilidad, resistencia a la compresión, reducir la viscosidad etc. Vale la pena mencionar que la resina epóxica al estar en contacto con una llama arde y se inflama.

Este tipo de resina tiene gran cantidad de aplicaciones, principalmente se utiliza para hacer unión entre materiales del mismo tipo y también de diferentes materiales tales como: vidrio, plástico, metales, madera etc. También se utiliza para restauraciones de hormigón y pegar hormigón con hormigón. También se usa en: pinturas, acabados, unión de bloques, servir anclajes, juntas, sistemas eléctricos, materiales compuestos etc. (Studies, 2014) (Francisco Liesa, 1990).

La resina poliestérica es ideal para la aplicación de moldeo por contacto debido a que tiene muy buenas propiedades mecánicas entre ellas la flexibilidad y el impacto y poco deterioro por la intemperie. Es muy utilizada en la construcción de carrocerías de todo tipo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



de vehículos, también es ideal para hacer laminados traslucidos y no traslucidos, tienen gran resistencia a la temperatura y muy buena resistencia química, es usada para elaborar coladas no transparentes (Oscar de bueno, Adolfo Gollob, Victoria Rodriguez, Silvina Rodriguez, Florencia Botindari, Mariela Velasquez, 2010).

La resina fenólica, se conforma por la condensación del formaldehído y el fenol. Ésta resina se caracteriza por su gran resistencia a los cambios de temperatura, también al calor y la humedad. En el sector de la construcción se utiliza para paneles, molduras, adhesivos y diferentes tipos de revestimientos superficiales y alguno que otro pequeño elemento estructural (decoración), impregnación de resinas, resinas de hule, componentes eléctricos, laminado, adhesivos para cemento, adhesivos aglomerados, moldes etc. (Quiminet, 2007).

### **Las cargas cerámicas**

Las cargas cerámicas adicionadas a un concreto polimérico, cumplen dos funciones básicas, soportar carga mecánica (agregados gruesos) y llenar vacíos para aumentar la compactación y mejorar propiedades de resistencia a intemperie y al fuego (fillers). Generalmente, lo que no está hecho de metal, madera, plástico, o algún tipo de roca decorativa es hecho de minerales industriales, gracias a su bajo costo, disponibilidad, y propiedades intrínsecas tanto de carácter físico como químico. La gran mayoría de minerales industriales se emplean en su estado natural para la industria en que se requiera, de esta forma es poco común que modifiquen químicamente su composición natural.

Las cargas cerámicas son aquellos minerales que se utilizan en materiales compuestos en donde la carga cerámica se agrega para reemplazar otros materiales que son más costosos o en su defecto que se agrega para mejorar propiedades físicas y/o químicas por un menor precio o una relación costo beneficio mejor (al mejorar propiedades), se utilizan: carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), caolín, yeso, talco, diatomita, wollastonita, sulfato sódico entre otros (SIEMCALSA, 2007). Además suele utilizarse arenas de diferente graduación y arcillas (que contiene diferentes minerales), agregados gruesos de tamaño 6/8 de pulgadas, 3/8 de pulgada).

La arcilla es un tipo de suelo o roca que contiene silicatos de aluminio hidratados, la arcilla se obtiene gracias a un proceso de descomposición natural de rocas que contienen feldespato, proceso que toma miles de años. Dependiendo de su proceso geológico de formación puede ser primaria o secundaria. La arcilla primaria se denomina así cuando el yacimiento en que está fue en donde se originó, esta arcilla se conoce como caolín. Las arcillas secundarias son aquellas que por causas físicas o químicas se apartaron del yacimiento en que se originó; se conocen de este tipo: el caolín secundario, el barro, la arcilla refractaria y la arcilla de bola. De acuerdo con la plasticidad las arcillas pueden ser plásticas o poco plásticas.

La aplicación principal de la arcilla ha sido en el sector de la construcción debido a que a partir de la arcilla se puede hacer: ladrillo, tejas, losas, alfarería, tubos, azulejos. También ha sido bastante usado en la historia para hacer porcelanas, losa de mesa, refractarias y

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

losa sanitaria, reemplazo de resinas en pinturas, aislantes, caucho y hasta para hacer fibra de vidrio. Hoy en día se usa mucho el caolín en la industria del papel y un poco en los cosméticos (SIEMCALSA, 2007) (Ecured, 2015) .

El yeso es un sulfato cálcico deshidratado ha sido utilizado como aglomerante en el sector de la construcción, material de construcción calcinado, cemento, fertilizantes, papel (todos los anteriores crudo), pintura y agricultura (SIEMCALSA, 2007).

El talco es un mineral cuyo nombre técnico es un silicato de magnesio deshidratado que se utiliza en la fabricación de diferentes productos en los sectores industriales farmacéuticos, agroindustria y claro está como carga. También en la producción de caucho, cerámica, papel, pintura y plástico. (SIEMCALSA, 2007).

### 3.3 PROVEEDORES DE CONCRETO POLIMÉRICO.

Los proveedores locales (Valle del Aburra) de las materias primas e insumos requeridas para elaborar un concreto polimérico son Andercol S.A (resinas) Sumicol S.A (agregados y fillers), Firplak S.A, Ecodeck, Reforplas S.A.S canteras (agregados gruesos y arenas)

Andercol S.A, pertenece al Grupo Orbis que tiene presencia en los siguientes países: Ecuador, Colombia, Venezuela, Chile, Brasil y México. Esta empresa tiene una gran variedad de productos de esta forma puede ofrecer diversas a soluciones a empresas de diversos sectores con productos de construcción, poliéster, tintas, adhesivos, recubrimientos, y detergentes etc. (Andercol S.A, 2014).

Sumicol S.A pertenece a la Organización Corona. Tiene dos divisiones: Corona productos industriales y Materiales de construcción corona, ésta es una empresa colombiana que presenta soluciones en todo tipo de materiales industriales específicamente hablando de materiales y productos asociados a la construcción, tales como productos para baños: pisos, paredes, decorados sanitarios, lavamanos muebles para baño.

Cocinas: grifería de lavaplatos, plomería y pisos y paredes

Y entre otros productos más (Sumicol S.A, 2012).

**Firplak:** es una empresa colombiana con más de 30 años en el mercado colombiano y también Latinoamericano. Ésta empresa hace productos para baños, cocinas, bañeras e hidromasajes, grifería, accesorios, productos zona de ropas; También produce drenajes, canales, cárcamos plomería y accesorios (Firplak S.A, 2013)

**Sinesco S.A.S (Ecodek producto):** nace como una empresa de la Cámara colombiana de la infraestructura y se hace realidad en 2010 con la incursión de 53 socios, todas empresas de la construcción Antioqueña. Ésta empresa nace para dar una solución a los residuos de construcción y demolición, ofrece gran cantidad de servicios y gracias a la innovación y la tecnología desarrollan nuevos procesos y materiales amigables con el medio ambiente y dando una solución al manejo de los RCDs.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ecodek es una filial de Sinesco S.A.S que se dedica a la eco-innovación. Ecodek desarrolla nuevos productos con los RCD y otros residuos industriales como: llantas, fibras y vidrio entre otros. Estos productos son amigables con el medio ambiente y compiten tanto en calidad como estética. Ecodek hace productos para: lavaplatos, lavaderos, mesones y zócalos (Sinesco S.A.S, s.f).

**Reforplas:** esta empresa colombiana se dedica desde hace más de 35 años a la fabricación (con su previo diseño y desarrollo) de productos de materiales compuestos como: polímeros, fibras de vidrio y maderas procesadas. En su catálogo podemos encontrar productos para: baños, lavarropas, cocinas, granato, polyconcreto, concreto polimérico, tapas de acueducto, perfiles estructurales de fibra e vidrio, magama (marca registrada), lavaderos, pultrusión, tanques industriales, tanques en fibra, pisos industriales y postes en fibra de vidrio (Reforplas, 2014).

### **3.4 ANÁLISIS INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DEL CONCRETO POLIMÉRICO.**

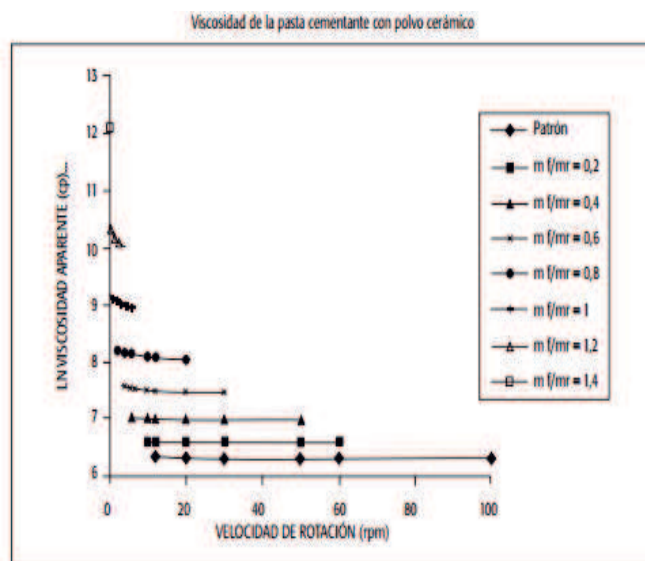
Se analizaron y se recopiló información de diferentes estudios, todos con dosificaciones de mezclas diferentes pero que incluían dos aspectos en común; buenos resultados en las propiedades mecánicas del concreto polimérico y que las resinas que se utilizan son generalmente poliéster o epóxicas en su defecto. Del total de los estudios se hizo enfoque en cuatro (4) investigaciones para definir parámetros para el diseño de mezclas preparadas y evaluadas en el trabajo de grado, las variables que se tuvieron en cuenta fueron las de resistencia a la compresión, viscosidad, relación masa filler sobre masa resina.

El en primer estudio hay una mezcla que tiene resina poliéster, arena del río cauca como agregado fino, granito #1 (4.7 mm) y granito #2 (9.5 mm) como agregado grueso y polvo cerámico como filler. Clasifican las diferentes mezcla basadas en la relación  $M_f/M_r$  presentadas a continuación en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Diseño de mezcla de concreto polimérico con escoria y polvo cerámico como fillers (Valencia, Collazos, Mina,Toro, 2009)

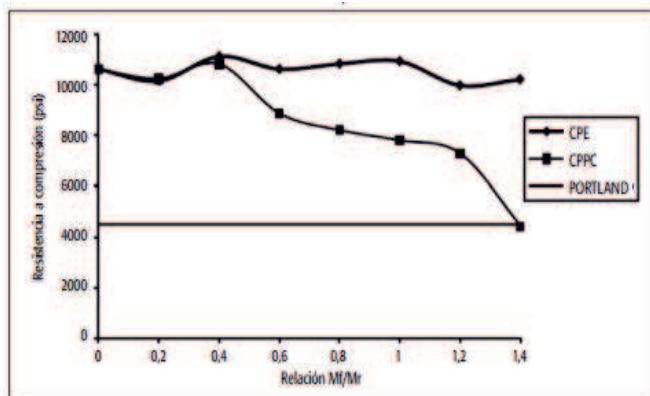
Diseño del CP con ambos fillers								
Porcentaje en Peso para el CP con escoria								
M <sub>f</sub> /Mr	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
Agregados	83,41	81,85	80,54	79,42	78,46	77,63	76,90	76,25
Resina	16,59	15,13	13,9	12,86	11,96	11,18	10,50	9,9
Escoria	0	3,03	5,56	7,72	9,57	11,18	12,60	13,85
Porcentaje en peso para el CP con polvo cerámico								
Agregados	83,41	81,96	80,76	79,76	78,89	78,15	77,5	76,93
Resina	16,59	15,03	13,74	12,65	11,73	10,92	10,23	9,61
Polvo Cerámico	0	3,01	5,5	7,59	9,38	10,92	12,27	13,46

En base a las mezclas de concreto polimérico con polvo cerámico rotuladas por su relación M<sub>f</sub>/Mr, se analizaron los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y deviscosidad , presentados en la figura 3.

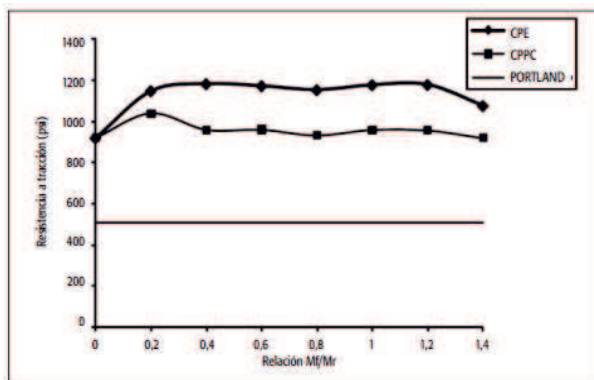


**Figura 3.** Viscosidad de las mezclas con polvo cerámico (Valencia, Collazos, Mina,Toro, 2009).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**Figura 4.** Resistencia a la compresión del concreto Polimérico (Valencia, Collazos, Mina,Toro, 2009).



**Figura 5.** Resistencia a la compresión del concreto polimérico (Valencia, Collazos, Mina,Toro, 2009).

A partir de las figuras 4 y 5 se evidenció que mientras más filler y menos resina contenga la mezcla será mas viscosa, y sus propiedades mecánicas disminuyen. También que la dosificaciones con mayor cantidad de resina tienen buenas propiedades mecánicas, pero son menos viscosas, para producir un buen concreto polimérico la dosificación debe tener buenas propiedades de viscosidad para poder fluir y llenar moldes en procesos de conformación de productos por vaciado. Por estas razones, se decidieron o no considerarlas dosificaciones de las mezclas Mf/Mr: 0; 0.2; 1.2; 1.4.

En la segunda investigación estudiada, se hacen 15 dosificaciones tanto para filler de humo de sílice y filler de ceniza volante, las cantidades máximas y mínimas de resina son 12.4% peso y 18.8% peso, la primera por manejabilidad y la segunda por el costo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 3.** Dosificaciones concreto polimérico con humo de sílice y ceniza volante (Marinela Barbuta, 2010)

Dosificaciones Para Humo de Sílice y Ceniza Volante				
Mezcla	resina epóxica	Filler %	Agregado 0-4mm %	agregado 4-8 mm %
1	18.8	6.4	37.4	37.4
2	12.4	12.8	37.4	37.4
3	12.4	6.4	43.8	37.4
4	12.4	6.4	37.4	43.8
5	15.6	9.6	37.4	37.4
6	15.6	6.4	40.6	37.4
7	15.6	6.4	37.4	40.6
8	12.4	9.6	40.6	37.4
9	12.4	9.6	37.4	40.6
10	12.4	6.4	40.6	40.6
11	16.4	7.2	38.2	38.2
12	13.2	10.4	38.2	38.2
13	13.2	7.2	41.4	38.2
14	13.2	7.2	38.2	41.4
15	14	8	39	39

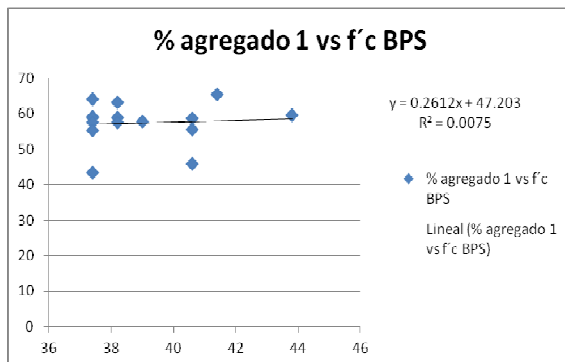
**Tabla 4.** Resultados mezclas de Concreto Polimérico para el ensayo de esfuerzo a compresión (Marinela Barbuta, 2010).

Resistencias experimentales		
Mezcla	f'c N/mm2 para silica fume BPS	f'c N/mm2 para fly ash BPf
1	59.2	67.14
2	58.79	69.82
3	59.59	57.96
4	57.61	60.62
5	64.08	67.22
6	58.62	64.49
7	43.47	65.3
8	45.95	64.89
9	55.21	62.86
10	55.62	64.49
11	58.8	67.76
12	63.2	60.61
13	65.32	64.89
14	57.61	62.45
15	57.75	61.06

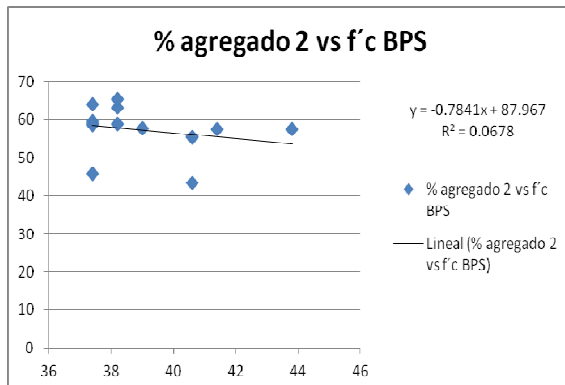
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La cantidad de datos de entrada se prestan para definir parámetros en los porcentajes de los agregados para el diseño de mezclas. A continuación se presentan las **figura 6** donde se hace la correlación de porcentajes de agregado fino, agregado grueso, resina y porcentaje de filler comparadas con los resultados de resistencia a la compresión, lo anterior para determinar las dosificaciones a tener en cuenta en el diseño de mezclas del proyecto.

**Figura 6.**

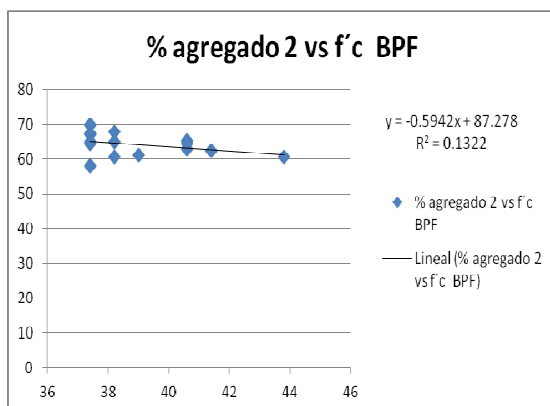


**(a) Porcentaje agregado 1 Vs F'c Humo de silice (Marinela Barbuta, 2010).**

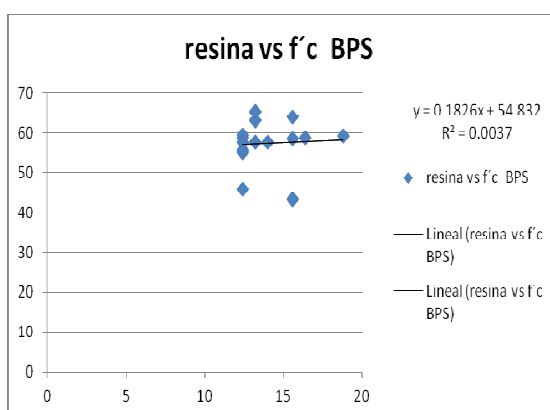


**(b) Porcentaje agregado 2 Vs F'c Humo de silice (Marinela Barbuta, 2010).**

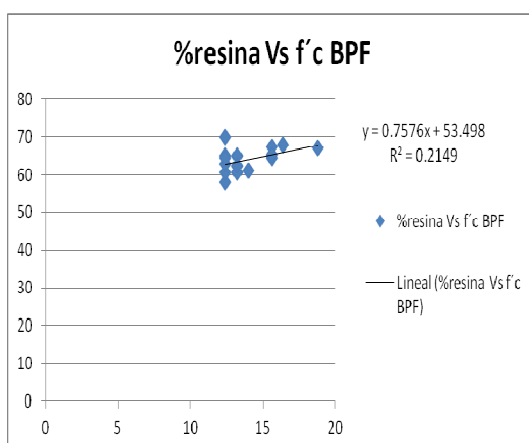
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



**(c)** Porcentaje agregado 2 Vs F'c Ceniza Volante (Marinela Barbuta, 2010)..



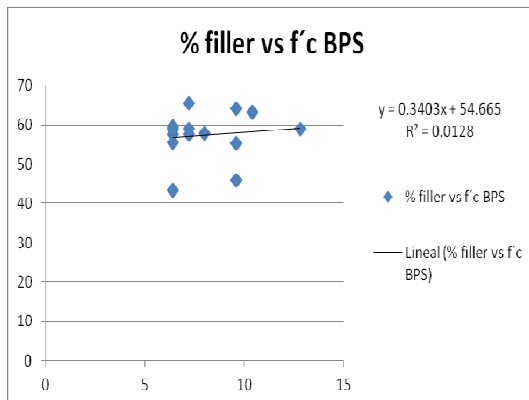
**(d)** Porcentaje resina Vs F'c humo de silice (Marinela Barbuta, 2010).



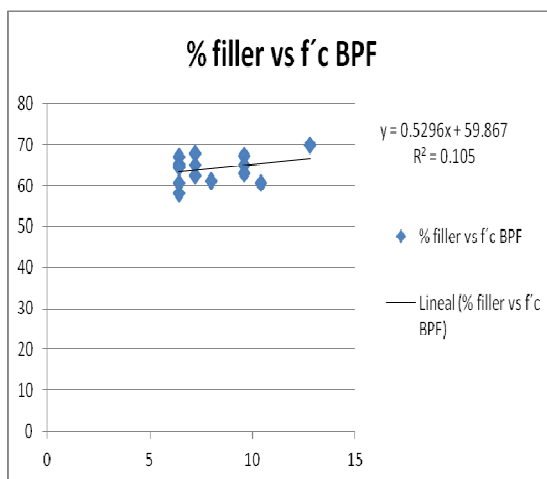
**(e)** Porcentaje resina Vs F'c Ceniza volante (Marinela Barbuta, 2010).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





(f) Porcentaje Filler Vs F'c humo de sílice (Marinela Barbuta, 2010).



(g). Porcentaje Filler Vs F'c ceniza volante (Marinela Barbuta, 2010).

Se analizaron las correlaciones de las **Figuras 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f, 6g**, teniendo en cuenta que las mezclas con mejores resultados de esfuerzo a la compresión estuvieran dentro de la línea de tendencia de las gráficas mostradas, de esta forma las dosificaciones que presentan mejores resultados en el ensayo a compresión, para la segunda investigación, son las dosificaciones de las mezclas 1, 2, 5, 11 y 13. Los parámetros de estas dosificaciones se tuvieron presentes para hacer el diseño de las mezclas utilizadas en este trabajo de grado. En base a estos y otros resultados encontrados en diferentes estudios es factible decir que la alta resistencia en el concreto polimérico se logra gracias a una buena relación entre tamaño grueso de los agregados y cohesión de los elementos de la mezcla.

Un tercer estudio que se analizó, se encontró que se usa el carbonato de calcio para mejorar la cohesión para llenar los espacios vacíos, este compuesto con lo cual se

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

confiere al concreto polimérico un incremento en su propiedades mecánicas. Las formulaciones diseñadas de mezclas se hicieron de acuerdo a la regla del máximo empaquetamiento. Los materiales empleados fueron: gravilla andesítica, marmolina como grano grueso y fino y carbonato de calcio como agregado fino. La **tabla 5**, muestra las mejores dosificaciones y los resultados de los ensayos de resistencia a compresión.

**Tabla 5.** Dosificaciones y Resistencia a la compresión de la tercera investigación. (Amando Padilla Ramirez, Antonio Flores Bustamante, Ivan Panamá, Juan E. Huerta, 2010).

Muestra	Resina	Gravilla	Grano Medio	Grano Fino	Carbonato de Calcio	Peso específico	Resistencia a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>
1	12.0%	35.0%	30.0%	15.0%	8.0%	2.23	453.7
2	10.0%	28.0%	34.0%	18.0%	10.0%	2.30	525.6
3	10.5%	28.0%	34.0%	17.5%	10.0%	2.29	564.5
4	11.0%	28.0%	34.0%	17.0%	10.0%	2.28	561.9

En este estudio es clave el porcentaje de carbonato, factor que no había sido incluido en las investigaciones 1 y 2, y que evidencia un aporte sobre el comportamiento mecánico de los concretos poliméricos.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO POLIMÉRICO.

De la escasa bibliografía disponible tanto en bibliotecas de universidades importantes de la ciudad, la internet y bases de datos digitales de las universidades Escuela de Ingeniería de Antioquia y Universidad Eafit. Se encontraron cuatro estudios importantes sobre el estudio del concreto Polimérico o Poli-concreto.

En base a los materiales utilizados y resultados obtenidos en dichos estudio se hace un análisis riguroso de ellos y se procede a hacer el diseño de mezclas teniendo en consideración. Propiedades mecánicas, Viabilidad económica del concreto polimérico y el uso de materiales reciclados de la construcción.

Los títulos de los cuatro estudios analizados son:

1. Caracterización Físico-mecánica del concreto polimérico basado en Resina Poliéster.
2. Comparison of Mechanical Properties for Polymer Concrete.
3. Concretos ligeros estructurales.
4. Concreto Polimérico reforzado con fibras de Luffa.

Con la información reportada por los estudios previamente mencionados, se realizó la **Tabla 6** con la información que prestaba cada uno sobre tipos de agregados (fino, grueso, tamaño y densidad), tipo de resina y resistencia a la compresión.

**Tabla 6. Resumen agregados de los estudios analizados.**

RESUMEN DE LOS AGREGADOS DE CADA ESTUDIO								
Resina	Agregado Fino			Agregado Grueso			f'c máximo Dosificación	Fuente
	Tamaño (diámetro)	Densidad (gr/cm)	tipo (nombre)	Tamaño (diámetro)	Densidad	tipo (nombre)		
<b>Poliéster Tereftálica</b>	-	-	escoria de alto horno	9.51	2.65	Granito granito no 2	77 Mpa	Caracterización Físico- Mecánica del concreto Polimérico basado en Resina Poliester
	-	-	polvo cerámico	4.7mm	2.57	Granito (granito) no 1		
	1.19mm máximo	2.53	arena (rio cauca)					
<b>Resina Epóxica</b>			silica fume y ceniza volante	0-4mm; 4- 8mm	2.25	grava de rio	65.32 MPA	Comparison of Mechanical Properties for Polymer Concrete
<b>Resina Poliester Ortoftálica</b>	-	Agregado fino (Arena)	Polvo de Marmol		Gravilla andesítica	Marmolina	42 MPA	Concretos ligeros estructurales
	-	-	-	0.03mm	0.6	Micro Esferas de Vidrio S60		
<b>Resina Poliester 30%</b>	-	-	Arena de Sílice	-	-	-	-	Concreto Polimérico reforzado con fibras de Luffa
	-	-	Fibras de Luffa	-	-	-		

También se hizo un análisis de los resultados y las dosificaciones encontradas en el estudio **#2**. Estudio que consta de gran cantidad de dosificaciones, en donde cada cual tiene resultados de ensayos a compresión. En el Marco teórico del presente proyecto es sumamente importante para el presente trabajo de grado el análisis que se realiza a dicho estudio teniendo en cuenta la relación que tienen el tamaño de agregado, tipo de agregado y porcentajes en peso de Resina, Agregado fino y agregado grueso.

En la **Tabla 7**. se presentan las dosificaciones más importantes de la bibliografía consultada.

**Tabla 7. Dosificaciones con mejores resultados de la bibliografía consultada.**

Mezcla	resina epóxica %	Filler %	Agregado 0-4mm %	agregado 4-8 mm %	F'c Mpa	
1	18.8	6.4	37.4	37.4	59.2	
2	12.4	12.8	37.4	37.4	58.8	
3	15.6	9.6	37.4	37.4	64.08	
4	16.4	7.2	38.2	38.2	58.8	
5	13.2	7.2	41.4	38.2	65.32	
Mezcla	Resina Poliester %	Filler % (CaCO3)	Agregado 0-4mm %	agregado 4-8 mm %	Agregado medio	F'c Mpa
6	12	8	15	35	30	45
7	10	10	18	28	34	52.5
8	10.5	10	17.5	28	34	56.4
9	11	10	17	28	34	56.1

Partiendo de todo el análisis previo se determinaron las mejores dosificaciones expresadas en la **tabla 7**.

Partiendo del análisis hecho en el numeral anterior sobre las diferentes dosificaciones presentadas en las investigaciones estudiadas se definieron los parámetros para realizar el diseño de mezclas inicial de concreto polimérico para el presente estudio.

Se diseñan diferentes dosificaciones de resina poliéster, agregado fino, agregado grueso y granulometrías de material cerámico. Se le realizarán pruebas específicas a los diferentes especímenes, con base en los resultados obtenidos se hará un estudio de las diferentes características mecánicas de los diferentes concretos poliméricos, realizando diez ensayos a compresión con probetas cilíndricas de 3" de diámetro por 6" de altura y un ensayo a flexión de la dosificación que dé mejores resultados de la prueba a compresión para determinar cuál mezcla, de las realizadas, arroja mejores resultados, los ensayos son regidos por las normas pertinentes, enumeradas en el rótulo de cada ensayo en el capítulo de resultados.

Lo primero a realizar es el diseño experimental debido a que se tienen diferentes resinas y cargas cerámicas y se debe definir cuál es la resina más apta para productos vaciados.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Una vez definida la dosificación de la resina y carga cerámica que utilizada como patrón, acorde a las recomendaciones de la literatura y los ensayos de fluidez de la pasta en laboratorio, como también las proporciones de reemplazo en las demás mezclas; se realizó un diseño de experimentos tipo factorial para asegurar la aleatoriedad en la preparación de las mezclas y el orden de realización de ensayos físicos y mecánicos. Después del diseño experimental se procedió a realizar el diseño de mezcla, asimilándolo al de un concreto hidráulico de resistencia 28 MPa o mayor.

Se va a fallar para comprobar su resistencia y con base en esa mezcla se van a hacer varios especímenes con diferentes cargas cerámicas utilizando como aglomerante resina poliéster isoftálica, que en comparación con la resina Epóxica, posee propiedades mecánicas menores pero también es más económica y de más amplio uso.

**Tabla 8. Precios Resinas.**

Tipo de Resina	Valor por Kilo de Resina
Poliéster Isoftálica	9500 COP
Epóxica	28014 COP

*Valores tomados de visita técnica hecha a Summiglas.*

A continuación se presenta el diseño de mezclas definido que se someterá a ensayos de compresión, también se ilustra bajo qué consideraciones y análisis de la bibliografía presentada en el Marco teórico del presente proyecto de grado se definieron las dosificaciones de mezcla, siempre respetando el diseño factorial de experimentos  $3^2$ , el cual garantiza las consideraciones estadísticas en el presente estudio.

**Tabla 9.** Diseño de Mezclas inicial de concreto polimérico. Porcentajes presentados en peso.

<b>Dosificación</b>	<b>% Resina Poliéster Isoftálica</b>	<b>% Agregado fino (Arena fina)  0-4mm</b>	<b>% Agregado grueso (Grava de Grouting)  4-8 mm</b>	<b>% Filler: CaCO<sub>3</sub>, ó Rcd's</b>
<b>1</b>	12	41.4	38.2	8.4 Rcd's
<b>2</b>	12	41.4	38.2	4.2 Rcd's, 4.2 CaCO <sub>3</sub>
<b>3</b>	14	41.4	38.2	6.4 Rcd's
<b>4</b>	14	41.4	38.2	3.2 Rcd's, 3.2 CaCO <sub>3</sub>
<b>5</b>	16	41.4	38.2	4.4 Rcds
<b>6</b>	16	41.4	38.2	2.2 Rcd's, 2.2 CaCO <sub>3</sub>

*Tabla diseñada y elaborada por Sebastián Giraldo.*

Mediante ensayos de laboratorio se procederá a caracterizar las diferentes propiedades físico-mecánicas del poli concreto trabajado. Por último se procederá a comparar las propiedades medidas en el Concreto Polimérico obtenido con las propiedades de un concreto polimérico común y así tener claridad de los productos vaciados con potencial de usarse en el sector de la construcción.

las mezclas para las probetas de ensayos de caracterización se hicieron en el laboratorio de Materiales y de Estructuras de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (Sede Alto de las Palmas). Para caracterizar los diferentes propiedades físico-mecánicas de los materiales es suficiente con los resultados de las pruebas del laboratorio de estructuras y la teoría de la ciencia de la mecánica de materiales.

## **4.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO POLIMÉRICO .**

Los especímenes cilíndricos para fallar a compresión se hacen bajo la norma NTC 3546, qué es la norma para cilindros de morteros. Difiere en relación a la norma para cilindros de concreto estructural en el tamaño de las probetas. Las probetas cilíndricas para concreto son de base de 4" y altura de 8", las de morteros son de base 3" y altura 6". Se opta por la norma NTC 3546 en primer razón por la capacidad de la prensa a compresión, debido a que se esperan resultados del orden de los 60 Mpa y sí el cilindro es de mayor tamaño, la prensa se tendrá que esforzar al máximo, teniendo en cuenta que los cilindros a fallar son más de doce. En segunda razón por el costo del experimento, al no tener patrocinador en el presente proyecto de grado, debía gastar la cantidad menor de resina en cada espécimen, ya que, como se mencionó anteriormente son bastantes.

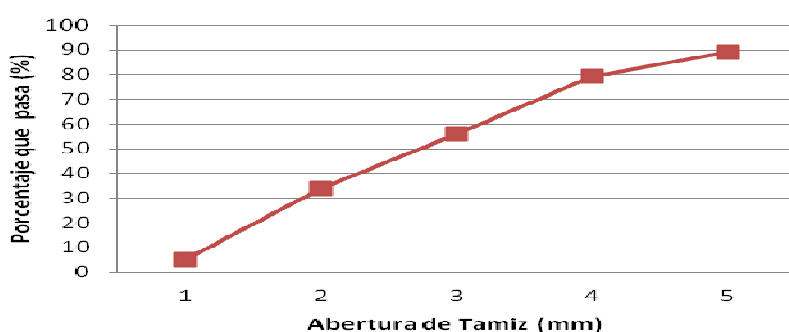


## 5. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 5.1 CARACTERIZACIÓN LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

Caracterización granulométrica de los agregados: Se realizan pruebas de determinación de granulometría basadas en cada una de las normas correspondientes según el material. Para el caso de la Gravilla 3/8 se hizo un filtro de tamices de abertura entre 9.75 mm a 4 mm para respetar la formulación de la dosificación de mezclas. En las **figuras 7, 8 y 9** se puede apreciar la granulometría de la gravilla, arena para cemento y RCD's.

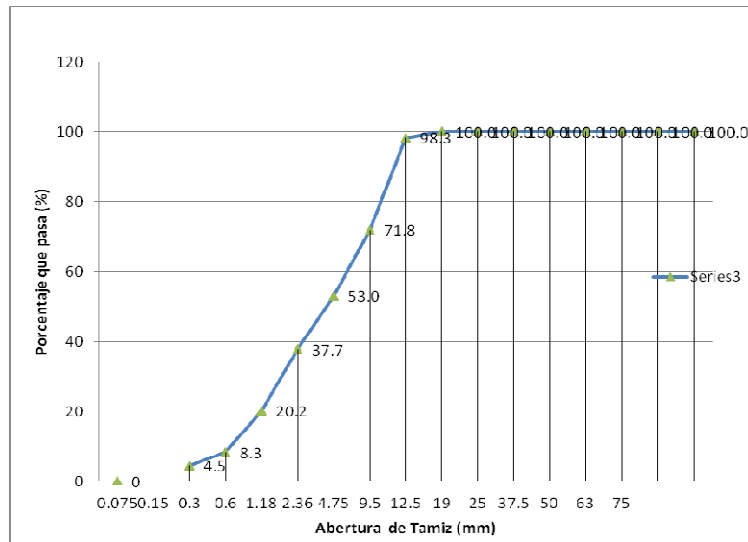
#### 5.1.1 Caracterización agregado grueso.



**Figura 7. Porcentaje que pasa agregado grueso Vs abertura tamiz agregado grueso bajo norma I.N.V E-123-07**

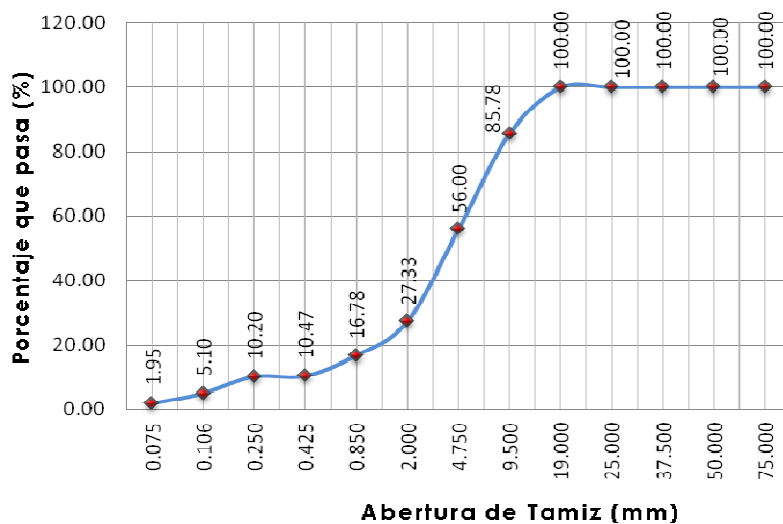
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 5.1.2 Caracterización agregado fino.



**Figura 8.** Curva granulométrica agregado fino bajo norma NTC 77-2007.

### 5.1.3 Caracterización agregado residuos de construcción (RDC's).



**Figura 9.** Curva granulométrica del agregado RCD bajo norma I.N.V E-123-07.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

#### **5.1.4 Caracterización de la resina poliéster:**

La resina poliéster utilizada como matriz y aglomerantes de los agregados en las mezclas de concreto polimérico posee las características mostradas por la ficha técnica del proveedor sumiglas S.A que se adjunta en los anexos. Además se realizó el ensayo de pico exotérmico de la resina acorde a recomendaciones de la norma ASTM D-2471, ya que esta información es necesaria para conocer cuanto catalizador agregara a la mezcla, de modo que esta posea una fluidez apropiada para llenar las formaletas usadas como moldes para elaborar las probetas de ensayo y el prototipo de producto. Los resultados de esta prueba se adjuntan como anexo en archivo comprimido.

Se elaboraron dos (2) especímenes por cada dosificación de mezcla. Todos los especímenes se vacían en formaletas para probetas cilíndricas del mismo material y dimensiones iguales (3" base, 6" de altura), cuentan con el mismo tiempo de curado; 7 días que es el tiempo en que una resina desarrolla su dureza al 100% (Valencia, 2015).

**Diámetro formaleta y espécimen cilíndrico: 7.62 cm (3")**

**Altura formaleta y espécimen cilíndrico: 15.24 cm (6")**

**Volumen: 695 cm<sup>3</sup>**

Los valores de las tablas dosificación 1#€¬ a dos6#€¬ son en porcentaje respecto al peso de cada material de la dosificación

#### **5.1.5 Tiempo de gel y pico exotérmico.**

Se realizó el ensayo de tiempo de gel y pico exotérmico bajo la norma ASTM D2471. Bajo esta norma los datos de temperatura se deben tomar cada 15 segundos los valores que se presentan en la siguiente tabla son valores resumidos en donde se muestra el cambio de temperatura de la resina en el tiempo específico.

**Tabla 10. Tiempo de gel y Pico exotérmico.**

Tiempo de gel y pico exotérmico Resina 80 g a 20°C catalizada con MEK al 1.5%.	
Tiempo	Grados Centígrados
0:00:00	18.3
1:00:15	27.5
1:10:30	35.2
1:13:45	45.7
1:17:30	85.8
1:23:00	99.9

Se concluye que la resina Poliéster Isoftálica tiene un tiempo de gel de una hora y veintitrés minutos. Es un endurecimiento muy rápido, comparado con el tiempo de fraguado del concreto convencional que es de cuatro horas mínimo.

## 5.2 ESPECIFICACIÓN PROBETAS FALLADAS A COMPRESIÓN.

Tabla 11. Dosificación 1:

Dosificación	% Resina Poliéster Isoftálica	% Agregado fino (Arena fina)  0-4 mm	% Agregado grueso (Grava de Grouting)  4-8 mm	% Filler: CaCO <sub>3</sub> , ó RCD's
1	12	41.4	38.2	8.4 RCDs
Cantidad (g)	200	690.5	637	140
Espécimen	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	F'c Mpa
1	693	1467	2.12	25.2
1'	695	1541	2.21	24.7

Tabla 12. Dosificación 2.

Dosificación	% Resina Poliéster Isoftálica	% Agregado fino (Arena fina)  0-4mm	% Agregado grueso (Grava de Grouting)  4-8 mm	% Filler: CaCO <sub>3</sub> , ó Rcd's
2	12	41.4	38.2	4.2 Rcd's, 4.2 CaCO <sub>3</sub>
Cantidad	200 gramos	690.5 gramos	637 gramos	70 g Rcd's 70 g CaCO <sub>3</sub>
Espécimen	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	F'c Mpa
2	688.8	1566	2.29	45
2'	692.5	1588	2.29	49

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 13. Dosificación 3.**

<b>Dosificación</b>	<b>% Resina Poliéster Isoftálica</b>	<b>% Agregado fino (Arena fina) 0-4mm</b>	<b>% Agregado grueso (Grava de Grouting) 4-8 mm</b>	<b>% Filler: CaCO<sub>3</sub>, ó Rcd's</b>
<b>3</b>	14	41.4	38.2	6.4 Rcd's
<b>Cantidad</b>	<b>233 gramos</b>	<b>690.5 gramos</b>	<b>637 gramos</b>	<b>106.7 gramos</b>
<b>Espécimen</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>F'c MPa</b>
<b>3</b>	<b>614</b>	<b>1489</b>	<b>2.42</b>	<b>36.9</b>
<b>3'</b>	<b>701</b>	<b>1536</b>	<b>2.19</b>	<b>38.58</b>

**Tabla 14. Dosificación 4.**

<b>Dosificación</b>	<b>% Resina Poliéster Isoftálica</b>	<b>% Agregado fino (Arena fina) 0-4mm</b>	<b>% Agregado grueso (Grava de Grouting) 4-8 mm</b>	<b>% Filler: CaCO<sub>3</sub>, ó Rcd's</b>
<b>4</b>	14	41.4	38.2	3.2 Rcd's, 3.2 CaCO <sub>3</sub>
<b>Cantidad</b>	<b>233 gramos</b>	<b>690.5 gramos</b>	<b>637 gramos</b>	<b>53 gramos Rcd's 53 gramos CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Espécimen</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>F'c Mpa</b>
<b>4</b>	<b>672</b>	<b>1560</b>	<b>2.32</b>	<b>52</b>
<b>4'</b>	<b>682.3</b>	<b>1550</b>	<b>2.27</b>	<b>66.85</b>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Tabla 15. Dosificación 5.**

<b>Dosificación</b>	<b>% Resina Poliéster Isoftálica</b>	<b>% Agregado fino (Arena fina) 0-4mm</b>	<b>% Agregado grueso (Grava de Grouting) 4-8 mm</b>	<b>% Filler: CaCO<sub>3</sub>, ó Rcd's</b>
<b>5</b>	16	41.4	38.2	4.4 Rcds
<b>Cantidad</b>	267 gramos	690.5 gramos	637 gramos	74 gramos RCD's
<b>Espécimen</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>F'c Mpa</b>
<b>5</b>	<b>689.4</b>	<b>1560</b>	<b>2.26</b>	<b>41.53</b>
<b>5'</b>	<b>682.6</b>	<b>1510</b>	<b>2.21</b>	<b>44.36</b>

**Tabla 16. Dosificación 6.**

<b>Dosificación</b>	<b>% Resina Poliéster Isoftálica</b>	<b>% Agregado fino (Arena fina) 0-4mm</b>	<b>% Agregado grueso (Grava de Grouting) 4-8 mm</b>	<b>% Filler: CaCO<sub>3</sub>, ó Rcd's</b>
<b>6</b>	16	41.4	38.2	2.2 Rcd's, 2.2 CaCO <sub>3</sub>
<b>Cantidad</b>	267 gramos	690.5 gramos	637 gramos	37gramos RCD's 37 gramos CaCO <sub>3</sub>
<b>Espécimen</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>F'c Mpa</b>
<b>6</b>	<b>684.7</b>	<b>1552</b>	<b>2.26</b>	<b>47</b>
<b>6'</b>	<b>689.6</b>	<b>1540</b>	<b>2.23</b>	<b>50.43</b>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 5.3 ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGA EN CONCRETO POLIMÉRICO.

Se realizó un ensayo a flexión basado en la norma INV E-414-07. La viga a fallar tiene una sección de 7.5 cm X 10 cm y una longitud de 40 cm.

La falla a flexión se da cuando la viga es sometida a una carga última de 122.75 Kgf. El concreto Polimérico representa una resistencia óptima a la compresión. la falla se presentó en el medio de la luz de la viga, lo cual indica una buena falla que no es por cortante.

Módulo de Rotura

Cómo la fractura se presentó en el tercio medio de la luz, el módulo de rotura se mide con la siguiente siguiente fórmula:

$$R = \frac{P * L}{b * d^2}$$

donde:

R = módulo de rotura (KPa).

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo (N). = 122.75 N

L = longitud libre entre apoyos (mm). = 300 mm

b = ancho promedio de la muestra (mm). = 75 mm

d = altura promedio de la muestra (mm). = 100 mm

R = 49.1 KPa

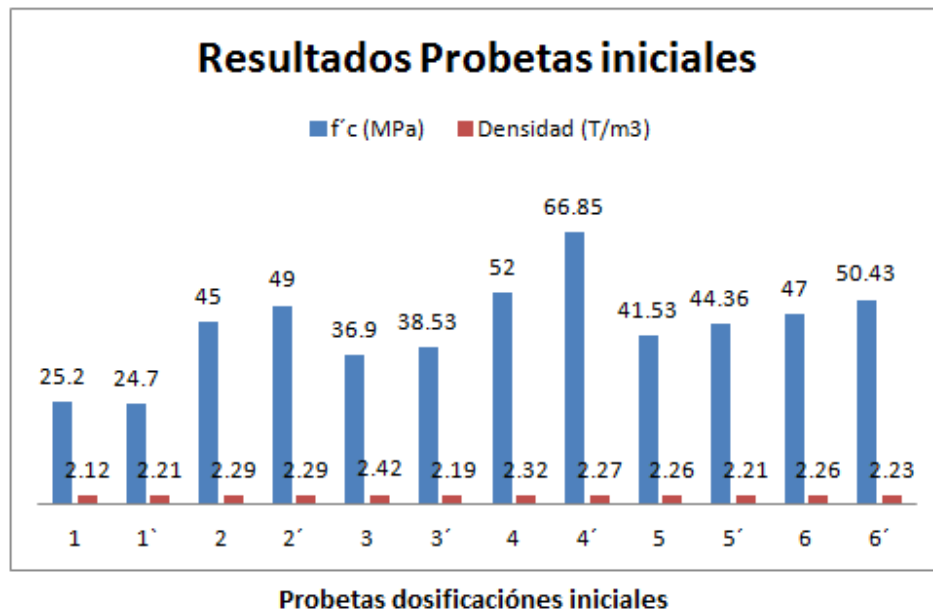


**Figura 10.** Viga en concreto polimérico después de fallar a flexión.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



### 5.3.1 GRÁFICA DOSIFICACIONES VERSUS DENSIDADES Y RESISTENCIAS



**Figura 11.** Gráfica Probetas VS Densidad y Resistencia a la compresión.

La densidad de las probetas falladas a compresión no tienen una incidencia directa en la resistencia a la compresión, dado que el coeficiente de correlación entre las dos matrices (densidad y  $f'c$ ) es del 36%, que es bajo.

La baja densidad del concreto Polimérico es una bondad respecto a su relación peso resistencia.

### 5.3.2 Imágenes probetas dosificaciones.

**Figuras 12.** Probetas antes de ser falladas a compresión.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

**Figuras 13.** Probetas después de ser falladas a compresión.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

#### 5.4 VALORACIÓN ELABORACIÓN CONCRETO POLIMÉRICO.

Valoración de elaboración del concreto Polimérico En este apartado se presenta una comparación de índole económica de lo que cuesta elaborar un concreto polimérico de 66 MPa en comparación a lo que cuesta hacer un concreto hidráulico de 43 MPa, ya que este es el concreto con mayor resistencia producido en obra.

El valor de 1.0 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico de resistencia 42 MPa producido en obra: \$ 390688 COP (Arquitectura y Concreto S.A.S, 2015)

Hacer 1.0 m<sup>3</sup> de concreto polimérico de resistencia 66.8 MPa, consume las cantidades de materiales reportadas en la **tabla 17**.

**Tabla 17.** Cantidad de materiales necesarios para hacer Concreto Polimérico de 66.88 MPa.

Material	Cantidad (Kg)	Precio por Kg (COP)	Precio total (COP)
Resina Poliéster	335	9500	3182500
Arena para concreto	992	33	32736
Gravilla para Grouting	916	11	10076
Carbonato de calcio CaCO <sub>3</sub>	76	500	38000
RCD's	76	12	912

Total costo materiales para hacer 1.0 m<sup>3</sup> de concreto Polimérico: 3'264224 COP. Pese al mejor desempeño estructural que demuestra el concreto polimérico, su costo de fabricación es muy alto comparado con el concreto hidráulico, razón que limita su aplicación a productos muy específicos que lo amerite.

Es importante resaltar que la comparación de precio de 1 m<sup>3</sup> de concreto se hace entre un concreto hidráulico de resistencia a la compresión de 42 MPa versus un concreto Polimérico de 66.85 MPa.

## 5.5 PROTOTIPO INDUSTRIAL EN CONCRETO POLIMÉRICO

Se elaboró un bloque de concreto de 20 cm de espesor, el cual sirve como viga de fundación, fachada y muros cargueros para edificaciones de uno o dos pisos. que se presenta en la **Figura 14**.



**Figura 14.** Bloque de concreto, prototipo industrial.



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La producción de un metro cúbico de concreto polimérico de 66.8MPa es 8 veces mayor que la producción del concreto hidráulico de 42 MPa. Es importante resaltar que se compara con un concreto hidráulico de aproximadamente el 75% de resistencia que el concreto polimérico. El concreto Polimérico se presta para productos prefabricados con condiciones muy especiales de peso, resistencia y aspecto estético.

La dosificación que presenta resultados de resistencia a compresión más bajo es la dosificación **#1**. Esta muestra alcanza tan poca resistencia (25 MPa) porque la cantidad de resina de la dosificación no es suficiente para lograr impregnar los demás materiales de la dosificación. Como la resina es el agente aglutinante, en el concreto hace el mismo trabajo que hace el cemento Portland y el agua en el concreto hidráulico, entonces quedan partes del espécimen con vacíos ausentes de la cantidad necesaria de resina para lograr alta resistencia a la compresión. Las figuras muestran la gran porosidad que exhiben los cilindros 1 y 1'; con espacios vacíos que no alcanzaron a ser llenados por el agregado fino, afectando la densificación y por ende la resistencia a la compresión de dicha mezcla. Lo anterior indica que en las partes internas del cilindro también hay vacíos y poca homogeneidad en la mezcla. Otra causa de la poca homogeneidad en la mezcla es que en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Antioquia no se cuenta una mesa vibradora, que hubiera sido de mucha utilidad para facilitar la compactación de estos concretos poliméricos de baja fluidez, los cuales se elaboraron vaciando en las formaleas y dando golpes laterales para obligar a la mezcla a compactarse. Es importante aclarar que no se consideró la adición de aditivos que mejoraran la fluidez de la resina y la mezcla porque desde el principio se era consciente de que se estaba trabajando con la cantidad mínima posible de resina según la bibliografía consultada.

La dosificación **#2** tiene la misma cantidad de resina que la anterior dosificación, sin embargo alcanza una resistencia de 49 MPa, que es aproximadamente del doble de la alcanzada por los especímenes 1 y 1'. En este caso la mezcla se mezcló con más fuerza, por la experiencia de las primeras mezclas, lo anterior teniendo presente que esta dosificación tiene la mitad de residuos de construcción que la dosificación **#1** y esta cantidad fue reemplazada por  $\text{CaCO}_3$  que es un material más fino que los RCD's y aportó valores mecánicos importantes a la dosificación. Es importante resaltar que el tipo de falla de este cilindro es puramente a compresión, no es por cortante debido a que no tiene diagonal marcada en la fisura. Ilustración en la **Figura 13**.

La dosificación **#3** muestra una resistencia a la compresión de 38.58 MPa. A pesar de contar con la proporción de resina exitosa (14% en peso), esta dosificación no tiene  $\text{CaCO}_3$ , por lo cual se piensa que su ausencia no le permitió a la mezcla consolidarse para alcanzar valores de resistencia a la compresión significativos; además la homogeneidad de la mezcla no es tan buena como las de las mezclas que contienen  $\text{CaCO}_3$ .

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Las dosificaciones de mezcla **#5 y #6** contiene la mayor cantidad de resina (16%), la cual resulta ser excesiva, pese a ello la mayor fluidez de estas mezclas influyo en que los cilindros logaran tener mejor textura y acabado, siendo más compacta. No obstante la cantidad de resina disminuyó la resistencia a la compresión a los especímenes de ambas mezclas que fueron las dosificaciones **#5 y #6** respectivamente, lo cual es lógico, teniendo en consideración que a mayor proporción de resina menor es la cantidad de agregados (con mayor modulo elástico y resistencia que la resina).

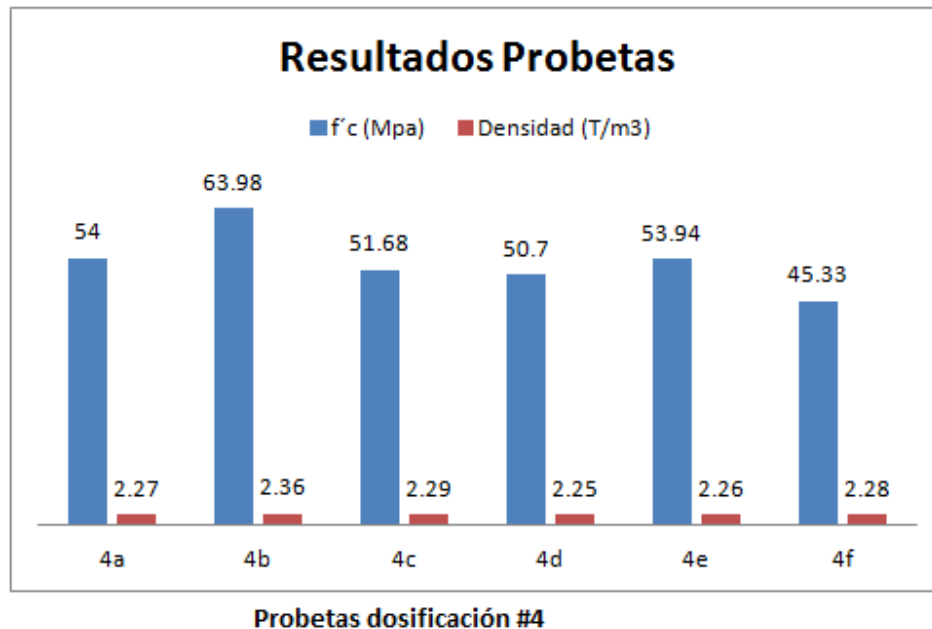
La dosificación de mezcla que mejores resultados presenta es la dosificación **#4** con 66.8 MPa y también presenta excelente homogeneidad y textura; por lo tanto se realizan seis probetas más para comprobar la resistencia a compresión de la dosificación. En la **Tabla 18.** se presentan los resultados obtenidos del ensayo a compresión de las seis probetas hechas con la dosificación 4.

**Dosificación 4. Tabla 18. 6 probetas con la dosificación #4 y sus propiedades.**

Dosificación	% Resina Poliéster Isoftálica	% Agregado fino (Arena fina) 0-4mm	% Agregado grueso (Grava de Grouting) 4-8 mm	% Filler: CaCO <sub>3</sub> , Rcd's ó
<b>4</b>	16	41.4	38.2	2.2 Rcd's, 2.2 CaCO <sub>3</sub>
<b>Cantidad</b>	267 gramos	690.5 gramos	637 gramos	37gramos RCD's  37 gramos CaCO <sub>3</sub>
Especimen	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	F'c MPa
<b>4a</b>	691.2	1571	2.27	54
<b>4b</b>	635.6	1502	2.36	63.98
<b>4c</b>	688	1577	2.29	51.68
<b>4d</b>	696.2	1568	2.25	50.7
<b>4e</b>	700	1581	2.26	53.94
<b>4f</b>	700.7	1597	2.28	45.33

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 6.1.1 GRAFICA DOSIFICACION 4 VERSUS DENSIDADES Y RESISTENCIAS



**Figura 15.** Dosificación 4 VS Densidad y f'c.

Para las probetas de la dosificación 4. La correlación entre densidad y resistencia a la compresión es media, del 74%. Lo anterior se da debido a que todas las probetas tienen la misma dosificación de mezcla y por lo tanto la densidad y resistencia a la compresión no varían mucho. A pesar de lo anterior, la correlación no es lo suficientemente alta como para considerar que la densidad de las probetas falladas a compresión influyen directamente en la resistencia a la compresión.

En las figuras mostradas previamente se pueden apreciar imágenes de la falla bajo compresión que desarrollaron los cilindros de la dosificación 4. Las fallas que se presentan a "cortante" se presentan porque los cilindros son pequeños para la prensa de compresión con que cuenta la Escuela de Ingeniería de Antioquia y por que el neopreno de la prensa estaba deformado; lo anterior trae como consecuencia que el cilindro no logre fallar a plomo, es decir en posición totalmente vertical, esta situación trae como consecuencia que la falla no sea cien por ciento a compresión. Razón por la cual no se logró igualar o superar el resultado obtenido en los especímenes de prueba. Sin embargo, se logró alcanzar resultados muy similares con una resistencia a la compresión importante.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Al no tener formaleta industrial estandarizada (la utilizadas con trozos de tubo de PVC), se logró que las secciones tengan un acabado uniforme.



**Figura 16. Cilindro inclinado en prensa. Figura 17. Valores ensayo a compresión.**



**Figura 18. Cilindro que presenta sección inclinada.**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

El Concreto Polimérico representa una solución alternativa para dificultades técnicas en construcción, por su rápido endurecimiento, excelente adhesión a otros materiales y alta resistencia, tales como reforzamiento y reparaciones de elementos estructurales en sitios puntuales, como Nudos de losa, Columnas de arranque y Vigas principales.

Este tipo de concreto de alta resistencia y rápido endurecimiento es ideal para reparaciones en la infraestructura de fábricas industriales con tasas de producción altas, donde el parar la fábrica y la producción durante más de un día representa pérdidas económicas altas. Por el concreto polimérico tener una velocidad de endurecimiento, tiempo de gel y Pico Exotérmico menor a noventa minutos. La velocidad de endurecimiento y su alta resistencia compensan en casos industriales el valor del Policoncreto.

Por su alta resistencia a la compresión y a flexión, este material puede ser utilizado en la ejecución de Dados y Pedestales de fundación, y columnas de arranque de edificaciones sometidas a altos valores de compresión y cortante, como son las estructuras de más de ochenta metros de altura.

Al ser un concreto producido con un porcentaje de material reciclado (RCD's) representa una solución amigable con el medio ambiente.

Recomendaciones:

Hacer nuevos trabajos de grado o proyectos de investigación, tomando como base la dosificación que arroja los mejores resultados, pero incluyendo vibración para compactar las mezclas y evitar vacíos que interfieran con los resultados.

Igualmente caracterizar mezclas que remplacen el carbonato cálcico por otros fillers como por ejemplo RCDs pulverizados, aserrín fino, ceniza volante, etc.

Dado que la resina es la materia prima que encarece los productos de concreto polimérico, es aconsejable estudiar tecnologías de fabricación por vacío que reduzcan su consumo o también evaluar si existen resinas naturales menos costosas que por sus propiedades puedan utilizarse para aglomerar los agregados.

Se recomienda que la cantidad de probetas por dosificación y tipo de ensayo mecánico a realizar tenga una cantidad mínima de especímenes de 3 unidades, y si es posible 7 o 21 especímenes de muestra. Lo anterior para garantizar que el experimento arroje resultados confiables en términos estadísticos y poder sacar media estadística y desviación estándar de todos los ensayos realizados.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Arquitectura y Concreto S.A.S. (2015). *Informe de concretos Obra Reserva del Río. Medellín.*

Valencia, M. A. (28 de Agosto de 2015). Phd Ciencia de los Materiales. (S. Giraldo, Entrevistador)

Amando Padilla Ramirez, Antonio Flores Bustamante, Ivan Panamá, Juan E. Huerta. (2010). Concretos ligeros estructurales a base de micro esferas de vidrio. *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, (pág. 13). Guanajato.

Gonzalo Martinez, Enrique Vigueras Santiago. (2010). Concreto polimérico y sus ventajas sobre el concreto a base del cemento Portland. *Enlace Químico*.

Marinela Barbuta, M. h. (2010). Comparison of mechanical properties for Polymer Concrete with different types of filler. *Journal of materials in civil engineering*.

Mayra E. Valencia, Paula E. Collazos, Jose H. Mina, Edward F. Toro. (2009). <http://investigaciones.usbcali.edu.co/>. Cali: Universidad de San Buenaventura.

(SIEMCALSA), S. d. (2007). *Los minerales industriales en Castilla y Leon*. Castilla y Leon : Domènech e-learning multimedia, S.A.

Amando Padilla Ramirez, G. G. (2010). Materiales compuestos en la construcción. *Poliformas Plásticas innovación y productividad*, (pág. 81). Acapulco.

Andercol S.A. (2014). *Andercol*. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de <http://www.andercol.com.co/es>

Arqhys Arquitectura. (marzo de 2014). *Arqhys*. Recuperado el 24 de septiembre de 2014, de <http://www.arqhys.com/historia-del-cemento-portland.html>

Atanor S.C.A. (s.f.). *Atanor*. Recuperado el 10 de septiembre de 2014, de [http://www.atanor.com.ar/esp/negocios\\_domesticos/polimeros/resinas/resina\\_ureicas.php](http://www.atanor.com.ar/esp/negocios_domesticos/polimeros/resinas/resina_ureicas.php)

Concreto polimérico Castor. (2011). *www.concretopolimerico.com*. Recuperado el 23 de septiembre de 2014, de <http://concretopolimerico.com/castor/pdf/alcantarillado/1.pdf>

Ecured. (s.f.). *Ecured*. Recuperado el 15 de septiembre de 2014, de <http://www.ecured.cu/index.php/Arcilla>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Firplak S.A. (2013). *Firplak*. Recuperado el 12 de septiembre de 2014, de <http://www.firplak.com/site/inicio>

Francisco Liesa, L. B. (1990). *Adhesivos industriales*. Barcelona: Marcombo S.A.

lafrancesco, G. (2003). *La investigación es educación y pedagogía*. Bogotá: Magisterio.

Jesús O. Castaño, R. M. (2013). *tecnura.udistrital.edu.co*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2014, de <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/651/690>

Ortiz, J. L. (noviembre de 1999). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.* Recuperado el 10 de agosto de 2014, de <http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/multiple1.htm>

Oscar de bueno, Adolfo Gollob, Victoria Rodriguez, Silvina Rodriguez, Florencia Botindari, Mariela Velasquez. (2010). *resina Poliester Acrílico*.

Quiminet. (15 de febrero de 2007). *Quiminet*. Recuperado el 26 de agosto de 2014, de <http://www.quiminet.com/>

Reforplas. (2014). *Reforplas ideas sólidas*. Recuperado el 15 de septiembre de 2014, de <http://www.reforplas.com/wordpress/quienes-somos/>

Sinesco. (s.f.). *Sinesco*. Recuperado el 12 de septiembre de 2014, de <http://www.sinesco.co/index.php/ecodek>

Studies, A. (2014). *All Studies*. Recuperado el 17 de agosto de 2014, de <http://allstudies.com/resinas-epoxi.html>

Sumicol S.A. (2012). *Corona*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de <http://www.corona.com.co/web/corona/pages/home-maestros>

Tamayo, M. T. (1999). *Serie: Aprender a investigar módulo 5: el proyecto de investigación*. Bogotá: ICFES.

Universidad iberoamericana. (s.f.). *Biblioteca Francisco Javier Clavijero*. Recuperado el 4 de Febrero de 2008, de ¿Cómo cito la información que encontré en internet?: [http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/biblioteca/articulos/pdf/refer\\_internet.pdf](http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/biblioteca/articulos/pdf/refer_internet.pdf)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.